

ПЛАЗМЕННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ТОКОМ ОБРАТНОЙ ПОЛЯРНОСТИ

В данной статье рассмотрена возможность получения упрочненных слоев с уникальными характеристиками методом плазменной поверхностной закалки на токе обратной полярности. Описана сущность метода. Приведены микро- и макроструктуры упрочненного слоя, их описание и прочностные характеристики.

Ключевые слова: плазма, поверхностная закалка, твердость, обратная полярность.

Сталь 40X13 при сравнительно невысокой стоимости обладает высокими механическими и антикоррозионными свойствами, обеспечивает стабильность свойств при резких перепадах температур. Такое сочетание свойств позволяет применять сталь 40X13 при изготовлении изделий, работающих в тяжелых условиях, например, опорная пара мостовой конструкции. Стали, содержащие 12–14 % С, являются мартенситными. Для высокохромистых сталей температура начала мартенситного превращения не превышает 360 °С, а окончания –240 °С. С увеличением содержания углерода точки $T_{м.н.}$ и $T_{м.к.}$ ещё более понижаются, что приводит к возрастанию твёрдости мартенсита и его хрупкости. В связи с тем, что мартенситные стали являются термически улучшаемыми и используются после закалки и высокого отпуска, участки ЗТВ, нагревавшиеся при обработке до температуры близкой к A_{c1} , разупрочняются. Чтобы избежать такого разупрочнения требуется проведение сложной термообработки – нормализации с отпуском [1–4].

В настоящее время все большее применение находит плазменная поверхностная обработка. В большинстве случаев процессы плазменной поверхностной обработки выполняются на токе прямой полярности [5], что не всегда обеспечивает необходимый комплекс свойств упрочненного слоя. Например, не всегда удается получить равновесную структуру упрочненного слоя, требуемую ширину упрочненной зоны за один проход без применения специальных сканирующих механизмов, а получение упрочненных слоев глубиной более 1 мм невозможно без оплавления поверхности [6]. Перспективным направлением решения описанных проблем представляется применение плазменной дуги на токе обратной полярности, однако этот процесс применяется редко.

Причиной этому является сложившееся мнение, что обработка на токе обратной полярности менее эффективна вследствие более медленных скоростей нагрева и охлаждения, по сравнению с прямой полярностью. Кроме того, считается, что плазмотроны при работе на токе обратной полярности испытывают высокие тепловые нагрузки, а эффективный КПД процесса ниже, чем при работе на прямой полярности. Однако результаты исследований позволяют предположить высокую эффективность использования плазменной дуги на токе обратной полярности для поверхностной термообработки [7; 8].

Целью представленной работы являлось исследование плазменной поверхностной обработки стали 40Х13 на токе обратной полярности.

Эффективность поверхностной термообработки определяется погонной энергией процесса, концентрацией мощности теплового источника и особенностями тепловложения в обрабатываемое изделие.

На первом этапе работы выполнены сравнительные исследования энергетических характеристик сжатой дуги методом калориметрирования при работе на токах прямой и обратной полярности. По результатам выполненных исследований установлено, что при одинаковом токе и прочих равных условиях тепловложение в изделие выше при работе плазмотрона на обратной полярности,

чем на прямой, вследствие большего напряжения дуги, при этом с уменьшением диаметра сопла d_c эта разница растет $P_{и.оп} \approx (1,1 - 1,6) P_{и.пп}$ (рис. 1).

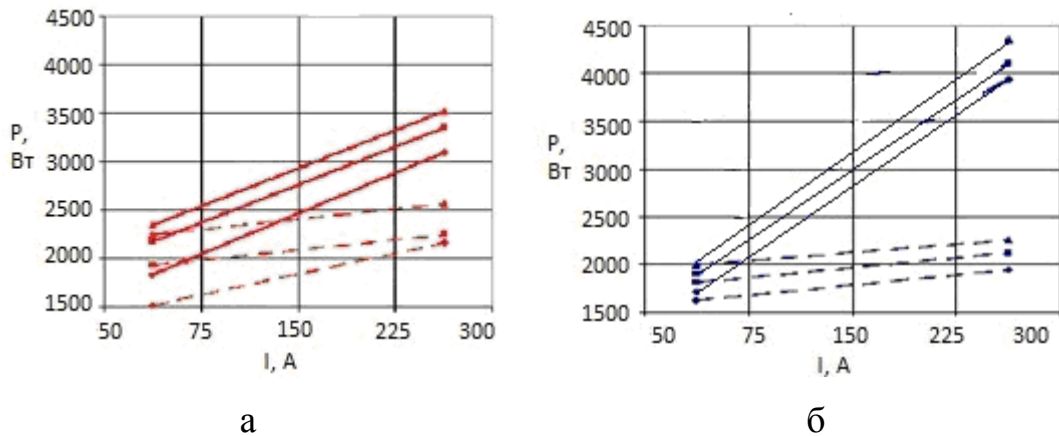


Рис. 1. Тепловложение в изделие при работе плазмотрона на токах прямой (---) и обратной (—) полярности в зависимости от диаметров плазмобразующего сопла и расхода газов («а» – $d_c = 5$ мм; «б» – $d_c = 3$ мм; $Q = 2(\bullet)$; $4(\blacksquare)$; $6(\blacktriangle)$ л/мин)

На следующем этапе проведены практические исследования плазменной поверхностной закалки на токе обратной полярности стали 40X13. В ряде случаев при поверхностной термообработке тяжело нагруженных конструкций требуется получение упрочненного слоя большой глубины. Для упрочнения изделий такого типа оправдано применение плазменной закалки на токе прямой полярности с оплавлением поверхности с целью получения максимальной глубины и твердости упрочненного слоя [12]. Однако при таком варианте обработки происходит образование грубой литой структуры с высокими прочностными, но пониженными характеристиками ударной вязкости и усталостной прочности. Кроме того, сталь 40X13 склонна к образованию холодных трещин и отпускной хрупкости.

Плазменная поверхностная обработка на токе обратной полярности, благодаря особенностям теплопередачи в изделие [9–11], позволяет получать упрочненные слои достаточной глубины без оплавления поверхности. При таком варианте термообработки происходит равномерный нагрев по ширине упрочненной зоны и, за счет катодных явлений на поверхности изделия,

обеспечиваются высокие скорости нагрева и охлаждения, необходимые для проведения закали поверхности (рис. 2).

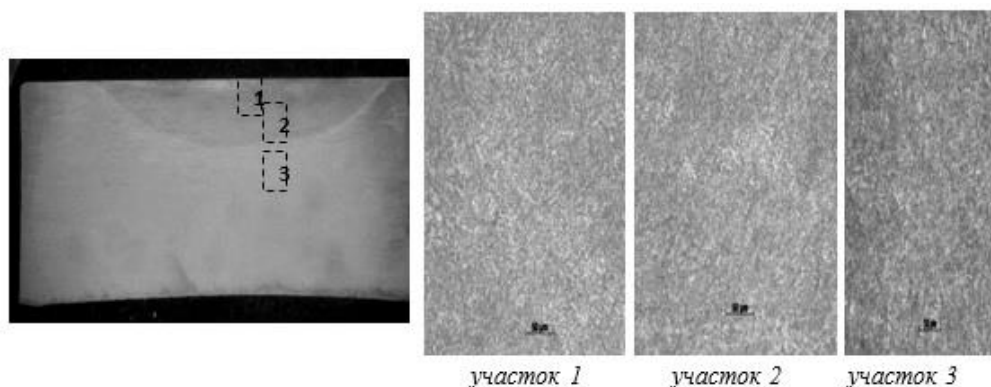


Рис. 2. Макро (x8) - и микроструктура (x250) образца обработанного без оплавления поверхности на токе обратной полярности ($I_d = 200 \text{ A}$; $V_{\text{пер}} = 7,5 \text{ м/ч}$)

В исходном состоянии структура стали представляет собой сорбит отпуска. Твердость основного материала в районе 15–20 HRC.

При обработке без оплавления поверхности на токе обратной полярности получаем равномерный упрочненный слой глубиной 2,5 мм и шириной в 20–25 мм со структурой мелкодисперсного мартенсита (рис. 2) и следующим распределением твердости по глубине упрочненной зоны (рис. 4).

Влияние теплопередачи в изделие за счет катодных пятен на результаты плазменной поверхностной термообработки можно проследить при обработке на малых погонных энергиях (рис. 3).

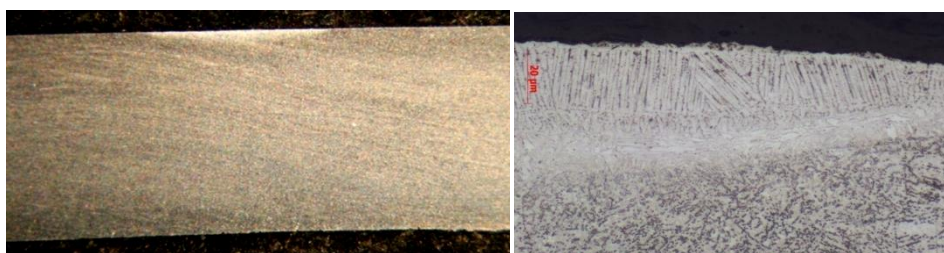


Рис. 3. Макро (x8)- и микроструктура (x250) образца обработанного без оплавления поверхности на токе обратной полярности на малых погонных энергиях ($I_d = 50 \text{ A}$; $V_{\text{пер}} = 35 \text{ м/ч}$)

При обработке на токе обратной полярности на малых погонных энергиях удалось получить упрочненный слой глубиной 0,5 мм без видимых следов

подплавления и изменения шероховатости поверхности и, за счет высокой локализации вводимого тепла, со структурой ориентированного мартенсита.

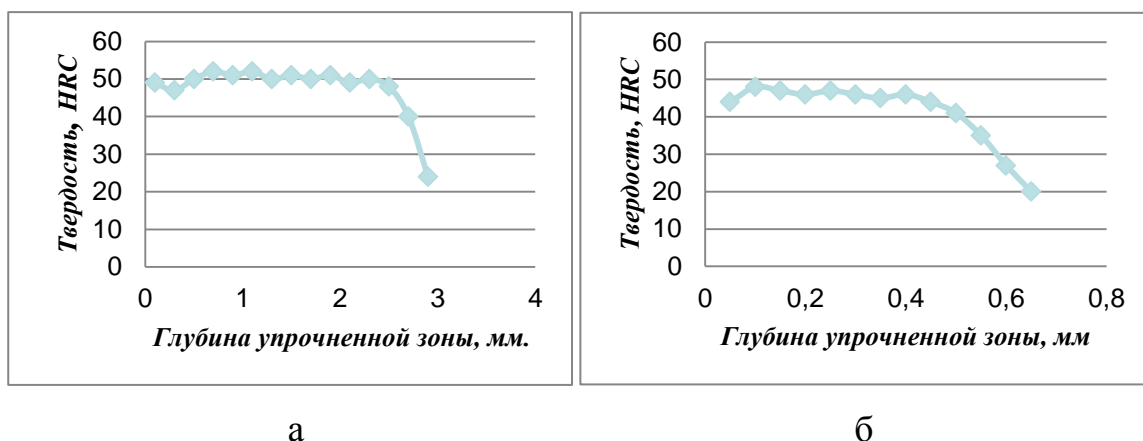


Рис. 4. Распределение твердости по глубине упрочненной зоны образца обработанного без оплавления поверхности на токе обратной полярности (а) и образца, обработанного на малых погонных энергиях (б)

При таком варианте обработки получаем резкое изменение структуры и свойств тонкого поверхностного слоя с минимальным нагревом изделия вследствие передачи большей части тепловой мощности за счет катодных пятен. За счет высокоскоростного нагрева и охлаждения поверхности небольшой глубины образуется ориентированная мелкодисперсная структура мартенситного типа высокой твердости (рис. 3, 4).

Работа выполнена в рамках проектной части гос. задания № 11.1196.2014/К при поддержке Министерства образования и науки РФ.

Выводы

1. По результатам выполненных исследований установлено, что при прочих равных условиях тепловложение в изделие при работе плазмотрона на обратной полярности выше в 1,1–1,6 раза, чем на прямой.
2. Применение обратной полярности, за счет особенностей механизма тепловложения в изделие, позволяет производить плазменную поверхностную термообработку при сравнительно невысоких мощностях плазменной дуги.

3. Явление блуждания катодных пятен по поверхности изделия позволяет расширить зону обработки и обеспечить равномерный нагрев обрабатываемой поверхности без применения специальных сканирующих механизмов.

4. При обработке на токе обратной полярности без оплавления поверхности удастся получить структуру упрочненного слоя, не требующую дальнейшей обработки.

Литература

1. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: / А. П. Шлямнев [и др.]. исправ. изд. М.: «Интермет инжиниринг». 2000. 232 с.
2. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
3. Зубченко А. С. Хрупкость хромистых ферритных сталей при сварочном и печном нагреве // Сварочное производство, 1981. с. 26–28.
4. Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981. 248 с.
5. Балановский А. Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. 180 с.
6. Сафонов Е. Н. Новые материалы и технологические процессы для продления ресурса прокатных валков. Нижний Тагил: НТИ(ф) УГТУ–УПИ, 2005. 212 с.
7. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А., Щицын В. Ю. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности // Сварка и диагностика. 2009. № 2. С. 42–45.
8. Быховский Д. Г., Беляев В. М. Энергетические характеристики плазменной дуги при сварке на обратной полярности // Автоматическая сварка. 1971. № 5. С. 27–30.
9. Цветков Ю. В. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления. М.: Наука, 1980. 359 с.

10. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А. Влияние полярности на тепловые нагрузки плазмотрона // Сварочное производство. 1997. № 3. С. 23–25.
11. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А., Струков Н. Н., Распределение энергии сжатой дуги при работе плазмотрона на токе обратной полярности // Сварка и диагностика. 2010. № 3. С. 23–25.
12. Белинин Д. С., Щицын Ю. Д. Особенности структурообразования при плазменной поверхностной закалке на большую глубину изделий из стали 40X13 // Известия Самарского Научного центра РАН. 2012. Том 14. № 4. С. 1200–1205.